

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-27-35

Кладиева П.В., Моисеев М.В., Мозговой В.М.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: davidenkovpolly@mail.ru*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АРМИРОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Ячеистый бетон активно используется в строительстве энергоэффективных преимущественно в качестве кладочного материала для вертикальных несущих конструкций. В то же время создание замкнутого теплового контура здания, лежащее в основе современных требований энергосбережения, рационально применением ячеистого бетона в несущих горизонтальных конструкциях, требующих армирования. Традиционно используемая в строительстве стержневая арматура малоэффективна в ячеистом бетоне из-за особенностей структуры материала и механизмов включения арматуры в работу – низкого удельного сцепления на границе арматуры с бетоном и существенно меньшей, чем у тяжелых бетонов распределительной способности пристержневого объема бетона, равномерно включающего в работу бетонное сечение элемента, следствием чего является недоиспользование прочности арматуры из-за ее продергивания в бетоне. Авторские исследования в области рационализации арматурных элементов, эффективных в ячеистых бетонах, направленные на увеличение поверхности контакта арматурного элемента с бетоном при сохранении исходной металлоемкости, позволяют рекомендовать к использованию в армированных ячеистобетонных конструкциях ленточное армирование – стальные зубчатые ленты, равной стержневой арматуре площади сечения, но обладающие развитой боковой поверхностью, обеспечивающей повышение прочности сцепления арматуры с бетоном и предупреждающей ее продергивание. В статье представлены результаты численного исследования параметров напряженно-деформированного состояния моделей, армированных ячеистобетонных балок прямоугольного сечения, армированных предлагаемой ленточной арматурой в сравнении с традиционным стержневым армированием.

Ключевые слова: армированный ячеистый бетон, ячеистобетонные изгибаемые конструкции, ячеистобетонная балка, ячеистобетонная плита, ленточная арматура, стальная зубчатая лента.

Введение. Принципы рационального проектирования железобетонных конструкций сводятся к решению двух основных задач: повышению прочности конструкции, позволяющей обеспечить высокий технический уровень и надежность готового изделия, за счет учета фактической работы конструкции под действием нагрузки, и обоснованию ее экономической эффективности и снижению расхода материалов за счет совершенствования методов оценки напряженно-деформированного состояния железобетонной конструкции [1]. Железобетон – композитный материал, представляющий собой совокупность массива хрупкого бетона с включаемой в работу пластичной арматурой, с особыми свойствами – анизотропией, контролируемым трещинообразованием и непостоянной деформативностью в зависимости от характера нагружения, определяющими нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями конструкции [2]. Ячеистый бетон обладает еще более специфическими свойствами и также физически нелинеен, что делает приоритетными вопросы уточнения реальных физических моделей армированного ячеистого бетона, с учетом ряда факторов, оказывающих существенное влияние на его работу в составе изгибаемых конструкций [3].

Методика. Расчет железобетонных конструкций в линейной постановке без учета физической нелинейности работы материала, допускаемый на стадии предварительной оценки металлоемкости армирования методологически несложен и позволяет дать верхнюю оценку прочности конструкции. Уточнение параметров НДС конструкций, особенно для расчета по предельным состояниям второй группы, требует применения физически нелинейных моделей деформирования бетона и арматуры, на что направлен достаточно развитый и верифицированный методологический инструментарий современных строительных правил в России и за рубежом [4]. Однако, с точки зрения рационального учета фактических условий работы арматуры в ячеистых бетонах, очевидно, существенно отличающихся от работы арматуры в тяжелом бетоне как по физической модели работы, так и получаемому распределению напряжений в состоянии равновесия конструкции, строительные нормы для ячеистобетонных конструкций (СП 351.1325800.2017) все еще опираются на принципы работы и правила проектирования арматуры в тяжелых бетонах, с включением некоторого количества эмпирических поправок в деформативные характеристики бетона. Авторам представляется суще-

ственной рационализация положений строительных правил, регулирующих проектирование армированных ячеистобетонных конструкций, внесением корректировок в описание физической модели работы арматуры в бетоне и включением в анализ параметров арматурных элементов, определяющих форму поперечного сечения, позволяющую повысить расчетную эффективность включения арматуры в работу конструкции и оптимизировать металлоемкость изделия [5]. С этой целью авторами проведены предварительные численные исследования моделей ячеистобетонных балок, армированных традиционной стержневой и инновационной ленточной арматурой, обладающей развитой боковой поверхностью для более эффективного сцепления со структурно неоднородным ячеистым бетоном [6]. Исследования проводились в программном комплексе ЛИРА-САПР, реализующем метод конечных элементов в перемещениях, формирование исходных данных осуществлялось с исполь-

зованием положений действующих строительных правил, регулирующих проектирование бетонных и ячеистобетонных армированных конструкций [7, 15].

Основная часть. Установлено, что в отличие от обычного железобетона, предельное состояние которого по прочности в основном характеризуется прочностью вертикальных сечений от изгибающего момента и наклонных сечений от поперечной силы, конструктивный ячеистый бетон из-за сравнительно низкой прочности сцепления арматуры с бетоном имеет дополнительное характерное выражение предельного состояния по прочности – разрушение по наклонным сечениям от изгибающего момента вследствие продергивания арматуры [8]. Один из характерных примеров такого рода разрушения являются опытные образцы ячеистобетонных армированных перемычек, произведенных и испытанных в 2018 г. по ГОСТ 8829 на ОАО «Бонолит – Строительные решения» (рис. 1)

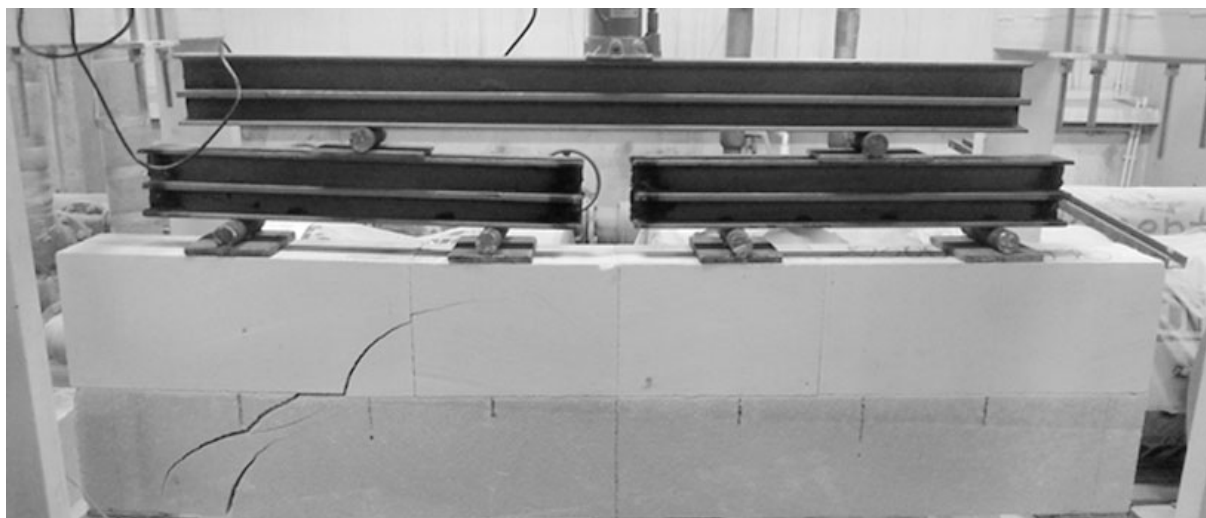


Рис. 1. Разрушение армированной ячеистобетонной, испытанной ОАО «Бонолит – Строительные решения», с продергиванием растянутой арматуры

Для демонстрации большей эффективности для несущей способности ячеистобетонных изгибаемых конструкций армирования их арматурными элементами, обладающими развитой боковой поверхностью, было выполнено моделирование и сравнительный физически нелинейный расчет параметров напряженно-деформированного состояния армированных ячеистобетонных балок прямоугольного сечения 150×200 мм ($b \times h$) пролетом 1,5 м из ячеистого бетона D500 B1,5, условно армированных традиционной стержневой и инновационной ленточной арматурой (стальными зубчатыми лентами) равной площади сечения [9]. Реализация физически нелинейного расчета и полный анализ фактического

напряженно-деформированного состояния армированной ячеистобетонной балки в ходе исследования влияния ленточного армирования на несущую способность изгибаемых конструкций из ячеистого бетона, выполнена с учетом заданных диаграмм деформирования материалов конструкции на основе метода конечных элементов в ПК Лира-САПР 2020.

Прочностные и деформативные характеристики ячеистого бетона и стальной арматуры (A500 и аналогичного класса) принимались согласно СТО НААГ 3.1–2013 «Конструкции с применением автоклавного газобетона в строительстве зданий и сооружений. Правила проектирования и строительства», СП 63.13330.2018 и СП

351.1325800.2017. Прочностные и деформативные свойства ячеистого бетона задавались трехлинейной диаграммой с начальным модулем деформации $E_b = 1300$ МПа, прочностями бетона $R_{b,n} = 1,4$ МПа ($R_b = 0,95$ МПа) и $R_{bt,n} = 0,22$ МПа ($R_{bt} = 0,09$ МПа), коэффициентом ползучести $\varphi_{b,cr} = 3,9$ (для бетонов класса ниже В10), относительными деформациями бетона при продолжительном действии нагрузки при сжатии (1) и при растяжении (2).

$$\varepsilon_{b1} = 0,6R_b/E_{b,\tau} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{b1} = 0,0021, \quad \varepsilon_{b0} = 0,0034, \quad \varepsilon_{b2} = 0,0048,$$

$$\varepsilon_{b1} = 0,6R_{bt}/E_{b,\tau} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{b1} = 0,0002, \quad \varepsilon_{b0} = 0,00024, \quad \varepsilon_{b2} = 0,00031.$$

Прочностные и деформативные свойства стали задавались двухлинейной диаграммой с модулем деформации $E_s = 206000$ МПа, прочностью стали $R_s = 435$ МПа, относительными деформациями стали $\varepsilon_{s0} = R_s/E_s = 0,0021$, $\varepsilon_{s2} = 0,025$. Расчетное армирование балки моделировалось продольными стержнями d10 A500 и полосами $1,6 \times 50$ мм эквивалентной площади сечения (по одному стержню в растянутой и сжатой зоне), поперечное армирование стержнями d5 A240 с шагом 100 мм [10].

Модели балок нагружались равномерно распределенной по верхнему поясу нагрузкой, интенсивностью 10 кН/м, что соответствует экспериментально полученным в исследованиях ОАО «Бонолит – Строительные решения» значениям несущей способности по прочности балки сопоставимых размеров сечения и пролета.

Результаты расчета представлены ниже, и в целом, позволяют констатировать существенно более эффективное включение в работу, и как следствие, большую предполагаемую несущую способность ячеистобетонных балок, армированных элементами с развитой боковой поверхностью (стальными зубчатыми лентами) [11]. Так, расчетный прогиб балки, армированной стержнями круглого сечения (рис. 2, слева) составил до 1,5 мм, в то время как расчетный прогиб балки, армированной стальными лентами, не превысил 1,2 мм. Появлению трещин в растянутой зоне соответствовало 60 % полной нагрузки в случае стержневой арматуры и 80 % ленточной, что позволяет установить большую на 20 % жесткость балок, армированных лентами, при большем включении арматуры в работу.

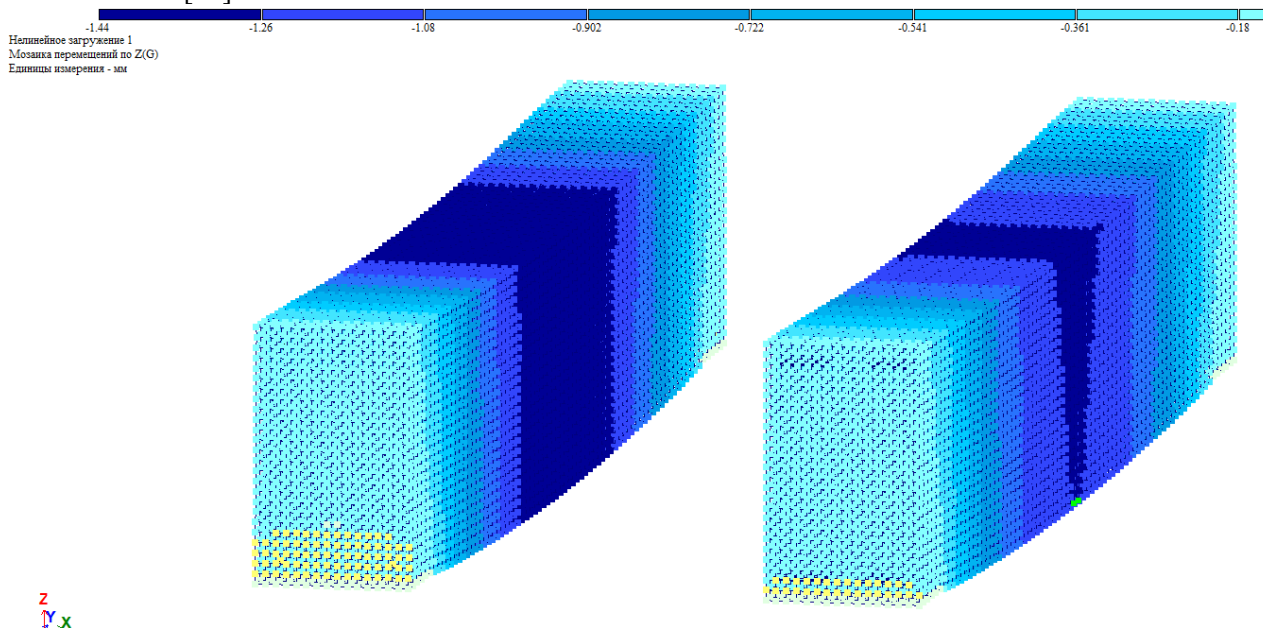


Рис. 2. Расчетные прогибы численных моделей равномерно нагруженных балок, армированных стержневой арматурой круглого сечения (слева) и стальными лентами (справа) равного поперечного сечения, мм

Продольные сечения балок, приведенные на рис. 3 показали существенно меньшую концентрацию напряжений в приарматурных объемах бетона для балок, армированных ленточной арматурой. Так для бетона балок со стержневой арматурой значения главных продольных напряжений составило до 0,346 МПа, преимущественно сосредоточившись в пределах одного-двух ко-

нечных элементов вглубь от стержневой арматуры, что превышает прочность ячеистого бетона на растяжение до трех раз, и, очевидно, разрушив приарматурный слой, вызовет продергивание арматуры в реальных балках, в пределах четверти пролета с обеих опор [12]. Балка, армированная лентами, продемонстрировала существенно более равномерное распределение главных напряжений, максимально составляющих 0,17 МПа,

что сопоставимо с нормативной прочностью ячеистого бетона на растяжение.

Армированная ленточной арматурой балка имеет большей высоты и полноты сжатую зону бетона нормальных пролетных сечений (рис. 4), меньшие на 15–20 % главные напряжения в наклонных опорных сечениях.

Большее и наиболее эффективное включение в работу стали ленточного арматурного элемента соответствует примерно равному уровню

развиваемых в арматурных элементах внутренних усилий, представленному на рис. 6. Продольные усилия в стержневых элементах балки, армированной ими, составили 4,6 кН растяжения/сжатия, что при площади арматурного стержня $d_{10} A_s = 79 \text{ мм}^2$ составит 58 МПа, в то время как расчетные продольные напряжения в пластинах, моделирующих ленточное армирования той же площади сечения составляют 60,2 МПа.

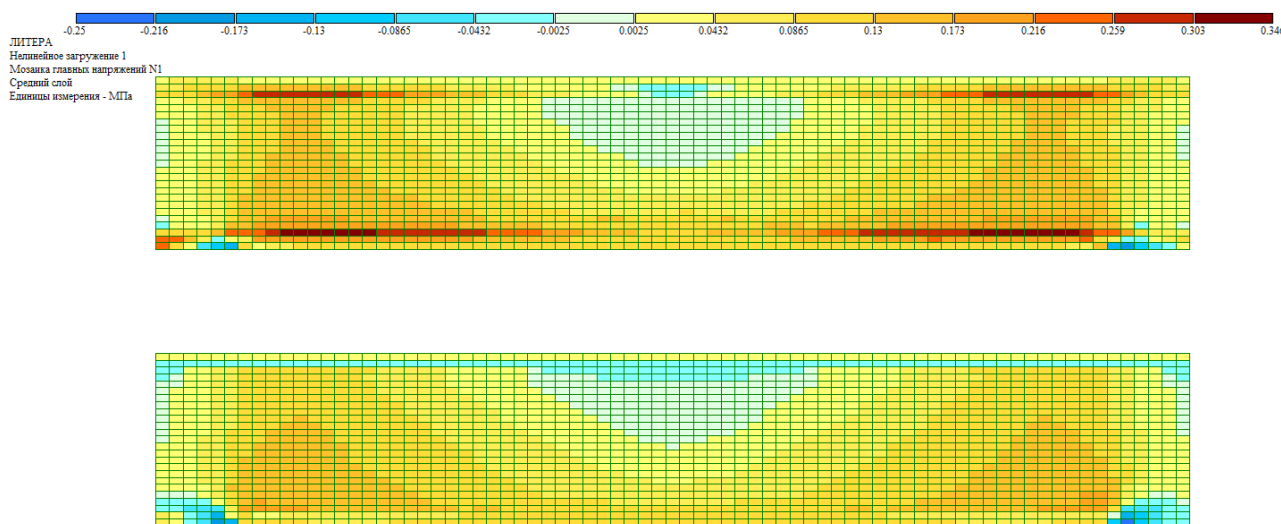


Рис. 3. Расчетные главные напряжения в бетоне численных моделей равномерно нагруженных балок, армированных стержневой арматурой круглого сечения (вверху) и стальными лентами (внизу) равного поперечного сечения, МПа

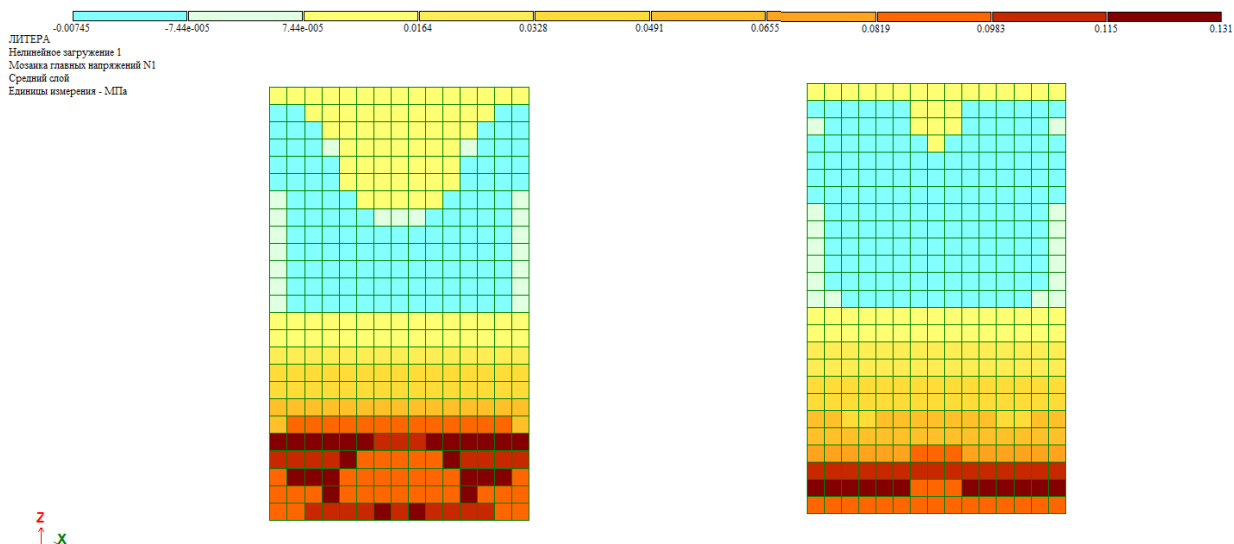


Рис. 4. Расчетные главные напряжения в нормальных пролетных сечениях численных моделей равномерно нагруженных балок, армированных стержневой арматурой круглого сечения (слева) и стальными лентами (справа) равного поперечного сечения, МПа

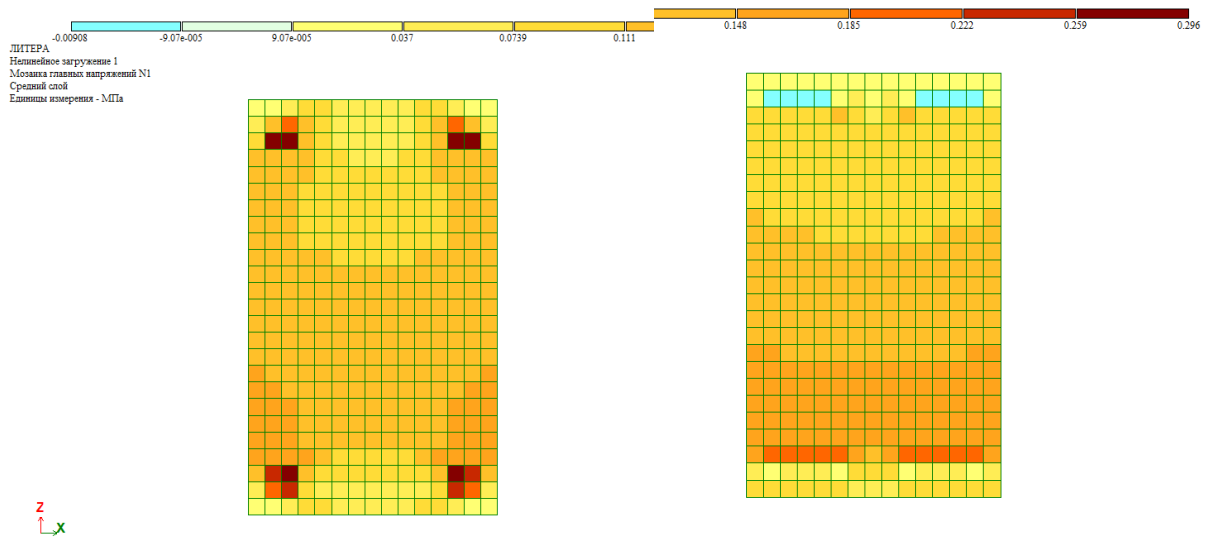


Рис. 5. Расчетные главные напряжения в наклонных опорных сечениях численных моделей равнонагруженных балок, армированных стержневой арматурой круглого сечения (слева) и стальными лентами (справа) равного поперечного сечения, МПа

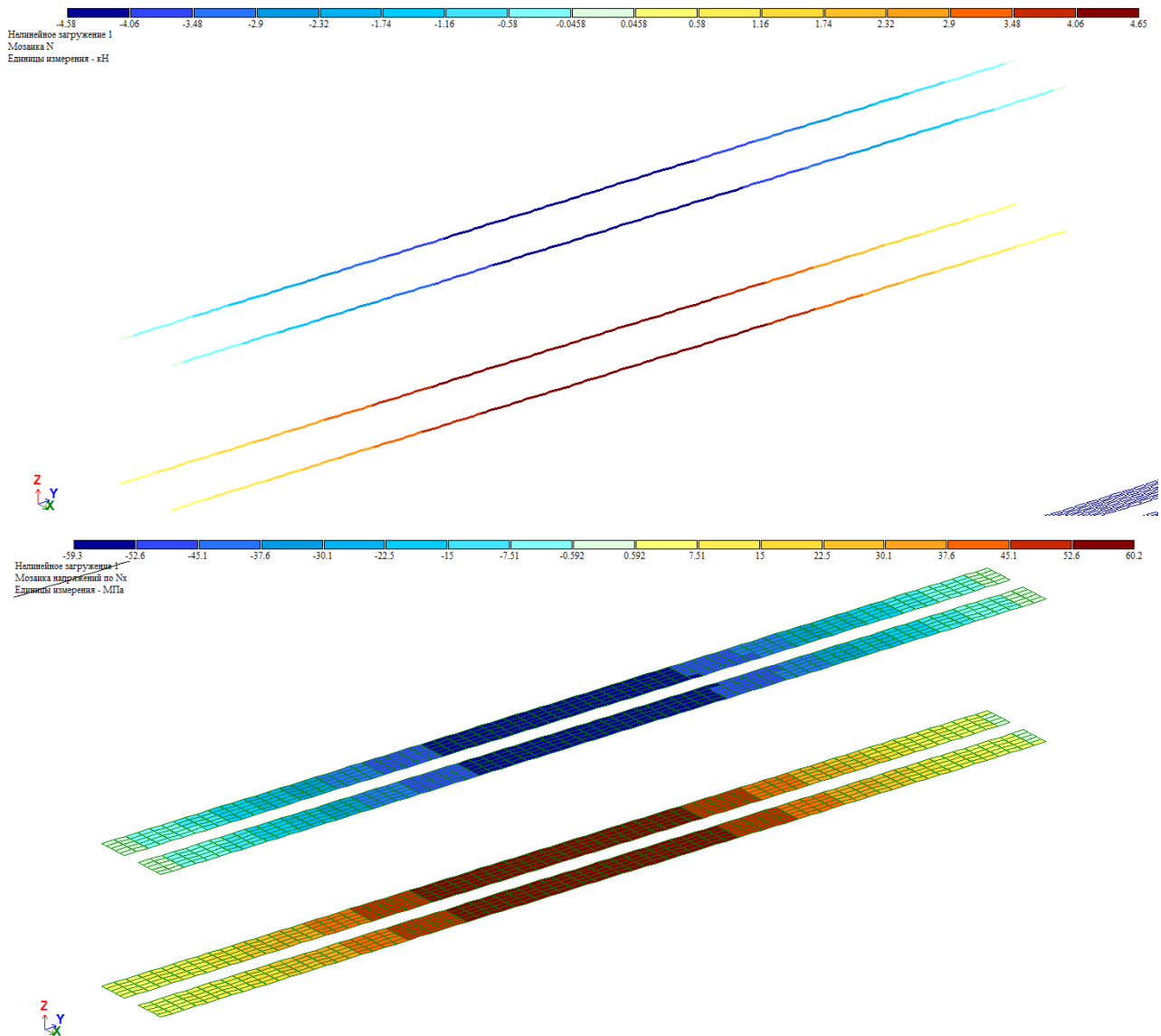


Рис. 6. Расчетные продольные усилия и напряжения в арматурных элементах численных моделей равнонагруженных балок, армированных стержневой арматурой круглого сечения (вверху) и стальными лентами (внизу) равного поперечного сечения, кН, МПа

Выводы. Результаты численного эксперимента исследования параметров напряженно-деформированного состояния моделей армированных ячеистобетонных балок прямоугольного сечения армированных инновационной ленточной арматурой, позволяют установить не менее, чем двукратно более равномерное и эффективное распределение напряжений в бетоне у ленточных арматурных элементов, существенно меньшую опасность продергивания арматуры, и, как следствие, большую включенность арматуры в работу балки на предельных нагрузках, обеспечивающей ей большую несущую способность по обоим группам предельных состояний [13]. Данные результаты исследования планируется верифицировать натурным экспериментом, в ходе которого предполагается выполнить экспериментальные нагружения ячеистобетонных балок, схожих исследуемым моделям, двух типов: выполняемых из неавтоклавного бетона D500 B1,5, армированных стандартной стержневой арматурой A500 и ленточных армированием, для устройства которого предполагается использовать доступную монтажную неоцинкованную стальную ленту толщиной от 0,5 мм [14]. Реализация экспериментальных исследований в сочетании с численным моделированием позволит утвердить стабильный и ощутимый эффект ленточного армирования в ячеистобетонных конструкциях, параметризовать и формализовать методику проектирования армирования и осуществить рационализацию методических подходов и количественных показателей ленточных арматурных элементов, принимаемых при ресурсоэффективной проектировании изгибаемых конструкций домокомплектов, обеспечивающих полный переход на использование ячеистого бетона в ограждающих и несущих конструкциях и возведение энергоэффективных зданий с замкнутым тепловым контуром экономически конкурентоспособного ценового уровня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кладиева П.В. Направления совершенствования методических подходов к выбору рациональной теории прочности при проектировании изгибаемых армированных ячеистобетонных конструкций // Аспирант. 2020. № 5 (56). С. 157–160.
2. Kladieva P.V., Koshlich Yu.A. Improvement directions of technical regulations in the field of reinforced cellular concrete structures // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 945. 012059 doi:10.1088/1757-899X/945/1/012059
3. Наумов А.Е., Шевченко А.В., Долженко А.В., Бодяков С.Н., Гвасалия Х.Д. Исследование прочности контакта пластиковой трубы и бетона при расчете пластикотрубобетонных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 9. С. 38–45
4. Макаричев В.В., Милейковская К.М. Исследование армированных конструкций из ячеистых бетонов. М.: Гостройиздат, 1963. 99 с.
5. Рудкова А.С., Весова Л.М. Использование дисперсного армирования в малоэтажном строительстве из ячеистого бетона // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2 (53). С. 43.
6. Сотникова Е.Ю., Абакумов Р.Г., Наумов А.Е. Строительные материалы и технологии, используемые в ИЖС при застройке пригородных территорий г. Белгород // В сборнике: Актуальные проблемы развития социально-экономических систем: теория и практика. сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 170–180.
7. Кладиева П.В. Газобетон как перспективный строительный материал // Сборник научных статей 4-ой Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Наука молодых – будущее России» [10-11 декабря 2019 г.] / Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 209–212.
8. Кладиева П.В. Направления совершенствования технологии армирования газобетонных несущих конструкций // Проектирование и строительство: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистрантов и бакалавров [13 марта 2020 г.] / Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 143–146.
9. Fedjuk R.S., Baranov A.V., Mugahed Amran Y.H. Effect of porous structure on sound absorption of cellular concrete // Construction Materials and Products. 2020. 3 (2). Pp. 5–18. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-5-18
10. Аль-хаснави Я.С.Г. Исследование работы балок из ячеистого бетона, армированных легкимистальными тонкостенными конструкциями // В сборнике: Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений. сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 11
11. Otsokov K.A. Innovative technologies in construction and their use in organizational and technological events // Construction Materials and Products. 2020. 3 (1). Pp. 7–13. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-7-13
12. Martyanov E.I. Optimization of the construction of a two-bladed stirrer to increase the energy efficiency of the apparatus // В сборнике: The

World of Science without Borders. Материалы 7-ой Международной научно-практической конференции молодых учёных. Электронный ресурс. 2020. С. 105–109.

13. Глаголев Е.С., Ермолаева А.Э., Елистраткин М.Ю. Использование ячеистых бетонов в 3d аддитивной индустрии // В сборнике: Теоретические основы создания эффективных композитов. Сборник материалов Российской онлайн-конференции, посвященной Дню науки. 2018. С. 75–82.

Информация об авторах

Кладиева Полина Викторовна, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: davidenkorolly@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Моисеев Михаил Вадимович, студент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мозговой Владислав Михайлович, студент кафедры экспертизы и управления недвижимостью. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 26.04.2021 г.

© Кладиева П.В., Моисеев М.В., Мозговой В.М., 2021

**Kladieva P.V., Moiseev M.V., Mozgovoy V.M.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: davidenkorolly@mail.ru*

THEORETICAL JUSTIFICATION OF INCREASING THE EFFICIENCY OF REINFORCEMENT OF FLEXIBLE CELLULAR CONCRETE STRUCTURES

Abstract. *Aerated concrete is actively used in energy efficient construction, mainly as a masonry material for vertical load-bearing structures. At the same time, the creation of a closed thermal contour of the building, which is the basis of modern energy saving requirements, is rational by the use of aerated concrete in load-bearing horizontal structures that require reinforcement. Traditionally bar reinforcement is ineffective in aerated concrete due to low specific adhesion at the contact of the reinforcement with concrete and significantly less than that of heavy concrete, the distribution capacity of concrete around a rod, which evenly transforms concrete stress to bar extension, the consequence of which is the significant bar understress while pulling it in concrete. The authors' research in the field of rationalization of reinforcing elements that are effective in cellular concrete, aimed at increasing the contact surface of the reinforcing element with concrete while maintaining the original steel consumption, makes it possible to recommend tape reinforcement for use in reinforced aerated concrete structures. Punched steel tapes equal to the bar reinforcement of the cross-sectional area, but having developed lateral surface, provide an increase in the adhesion strength of the reinforcement and preventing its pulling. The article presents the results of a numerical study of stress-strain state in reinforced aerated concrete beam with rectangular section, reinforced with the proposed tape reinforcement in comparison with traditional bar reinforcement.*

Keywords: *reinforced aerated concrete, aerated bent reinforced structures, aerated concrete beam, aerated concrete slab, tape reinforcement, punched steel tapes.*

REFERENCES

1. Kladieva P.V. Directions for improving methodological approaches to the choice of a rational theory of strength in the design of bent reinforced cellular concrete structures [Napravleniya sovershenstvovaniya metodicheskikh podhodov k vyboru racional'noj teorii prochnosti pri proektirovanii

14. Весова Л.М. Влияние армирующих волокон на структуру ячеистого бетона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 2 (79). С. 107–112.

15. Varlamov A.A., Gavrilov B.V., Davydova A.M. Destruction model of idealized concrete structure by sawing // Construction Materials and Products. 2020. 3 (2). Pp. 46–54. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-46-54

izgibaemyh armirovannyh yacheistobetonnyh konstrukcij]. Post-graduate student. 2020. No. 5 (56). Pp. 157–160. (rus)

2. Kladieva P.V., Koshlich Yu.A. Improvement directions of technical regulations in the field of reinforced cellular concrete structures. IOP Conf.

Series: Materials Science and Engineering. 2020. 945. 012059 doi:10.1088/1757-899X/945/1/012059

3. Naumov A.E., Shevchenko A.V., Dolzhenko A.V., Bodyakov S.N., Gvasalia Kh.D. Investigation of the contact strength of plastic pipe and concrete in the calculation of plastic-tube concrete structures [Issledovanie prochnosti kontakta plastikovoy truby i betona pri raschete plastikotrubobetonnykh konstrukcij]. Bulletin of the BSTU named after V. G. Shukhov. 2019. No. 9. Pp. 38–45. (rus)

4. Makarichev V.V., Mileikovskaya K.M. Research of reinforced structures made of cellular concrete. [Issledovanie armirovannykh konstrukcij iz yacheistykh betonov]. M.: Gostroizdat, 1963. 99 p. (rus)

5. Rudkova A.S., Vesova L.M. The use of dispersed reinforcement in low-rise construction of cellular concrete [Ispol'zovanie dispersnogo armirovaniya v maloetazhnom stroitel'stve iz yacheistogo betona]. Engineering Bulletin of the Don. 2019. No. 2 (53). 43 p. (rus)

6. Sotnikova E.Yu., Abakumov R.G., Naumov A. E. Construction materials and technologies used in residential housing in the development of suburban territories of Belgorod [Stroitel'nye materialy i tekhnologii, ispol'zuemye v izhs pri zastrojke prigorodnykh territorij g. Belgorod]. In the collection: Actual problems of the development of socio-economic systems: theory and practice. collection of scientific articles of the 9th International Scientific and Practical Conference. Southwestern State University. 2019. Pp. 170–180. (rus)

7. Kladiyeva P.V. Aerated concrete as a promising building material [Gazobeton kak perspektivnyj stroitel'nyj material] Collection of scientific articles of the 4th International Scientific Conference of promising developments of young scientists "Science of the young – the future of Russia" [December 10-11, 2019]. Kursk: South-Western State University, 2019. Pp. 209–212. (rus)

8. Kladiyeva P.V. Directions for improving the technology of reinforcement of aerated concrete load-bearing structures [Napravleniya sovershenstvovaniya tekhnologii armirovaniya gazobetonnykh nesushchih konstrukcij]. Collection of scientific papers of the 4th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Post-graduates, Undergraduates and Bachelors [March

13, 2020]. Kursk: South-Western State University, 2020. Pp. 143–146. (rus)

9. Fedjuk R.S., Baranov A.V., Mugahed Amran Y.H. Effect of porous structure on sound absorption of cellular concrete. Construction Materials and Products. 2020. 3 (2). Pp. 5–18. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-5-18

10. Al-hasnavi Ya.S.G. Investigation of the work of beams made of cellular concrete reinforced with light-steel thin-walled structures [Issledovanie raboty balok iz yacheistogo betona, armirovannykh legkimistal'nymi tonkostennymi konstrukciyami]. In the collection: Innovative methods of designing building structures of buildings and structures. collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Southwestern State University. 2019. 11 p. (rus)

11. Otsokov K.A. Innovative technologies in construction and their use in organizational and technological events. Construction Materials and Products. 2020. 3 (1). Pp. 7–13. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-7-13

12. Martynov E.I. Optimization of the construction of a two-bladed stirrer to increase the energy efficiency of the apparatus. In the collection: The World of Science without Borders. Materials of the 7th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Electronic resource. 2020. Pp. 105–109.

13. Glagolev E.S., Ermolaeva A.E., Elistratkin M.Yu. The use of cellular concrete in the 3d additive industry [Ispol'zovanie yacheistykh betonov v 3d additivnoy industrii]. In the collection: Theoretical foundations of creating effective composites. Collection of materials of the Russian online Conference dedicated to the Day of Science. 2018. Pp. 75–82 (rus)

14. Vesova L.M. Influence of reinforcing fibers on the structure of cellular concrete [Vliyanie armiruyushchih volokon na strukturu yacheistogo betona]. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2020. No. 2 (79). Pp. 107–112. (rus)

15. Varlamov A.A., Gavrilov B.V., Davydova A.M. Destruction model of idealized concrete structure by sawing. Construction Materials and Products. 2020. 3 (2). Pp. 46–54. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-46-54

Information about the authors

Kladiyeva, Polina V. Postgraduate student. E-mail: davidenkopolly@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Moiseev, Mikhail V. Bachelor student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Mozgovoy, Vladislav M. Bachelor student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 26.04.2021

Для цитирования:

Кладиева П.В., Моисеев М.В., Мозговой В.М. Теоретическое обоснование повышения эффективности армирования изгибаемых ячеистобетонных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. №6. С. 27–35. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-27-35

For citation:

Kladieva P.V., Moiseev M.V., Mozgovoy V.M. Theoretical justification of increasing the efficiency of reinforcement of flexible cellular concrete structures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 6. Pp. 27–35. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-27-35